

希少金属資源に関する我が国の採るべき方策

希少金属(レアメタル)は、素材産業、機械および電子産業など幅広い産業分野で利用される高付加価値製品の部材原料である。レアメタルとは、地球上に存在量が少ない金属や、経済的・技術的に純粋なものを取り出すのが難しい31種類の非鉄金属を指し、銅、鉛、亜鉛などのベースメタルとともに、我が国の国民生活および産業活動に必要不可欠な鉱物資源である。しかし、現在、我が国で自給できる鉱物資源は硫黄のみであり、他の全ての鉱物資源は輸入に頼っている。さらに近年、新興国を中心に世界の非鉄金属消費量が急増しつつある中で、存在自体が希少であるとともに、生産地の偏在性ゆえに特定の産出国への高い依存などから、我が国の資源の安定供給確保に懸念が生じている。

今後取り組むべき短期的課題として、鉱物資源はエネルギー資源と異なり、リユース、リサイクルというプロセスがあり、資源の利用効率を高めることができるため、個々のレアメタル元素ごとに、資源の上流側(地質・資源情報の提供側)、下流側(消費側)、および還流側(リサイクルなど)の3者がリスクを分け合って、お互いに参入し合うという構造が必要である。国としては、その仕組みを促進するとともに、関連する企業のために、資源情報の収集と解析を通じた、スピーディかつ的確な世界の鉱業情勢の把握を行う必要がある。陸上の資源開発の見直しとしては、近年の需要の伸びから、閉山を余儀なくされた小規模鉱山に再検討の必要性が生じている。

レアメタル資源安定供給に関する長期的取り組みとして、「第3期科学技術基本計画」の重点推進4分野のひとつである「ナノテクノロジー・材料分野」では、文部科学省と経済産業省が、2007年度よりそれぞれ「元素戦略プロジェクト」および「希少金属代替材料開発プロジェクト」を開始しており、基礎から実用化まで広範囲に展開できる支援体制を確立し、効果的な研究開発を実施するため、公募段階から連携を取って進めている。

海底資源の開発では、2007年7月に施行された「海洋基本法」で、海洋に関する施策を総合的かつ計画的に推進し、我が国の経済社会の健全な発展を図ることなどを目的として、海洋資源開発も含めた海洋の積極利用などが謳われている。我が国の排他的経済水域は非常に広く、この水域およびその近傍の海山には、地球上でも最も品位の高い、白金、コバルト、銅、マンガンを含むコバルト・リッチ・クラストが広域に賦存することがわかってきた。さらに、海底熱水鉱床は比較的浅い海底に存在し、鉱物資源としての品位が高く、再生するために繰り返し採掘できるという点からも、採算のとれる資源開発ができるのではないかと期待がもたれている。揚鉱方法、汚染対策、製錬法などの技術的な課題、それから経済性に関する課題は大きいですが、いったんこれらのシステムが確立されれば、いくつかの資源領域を交互に採掘できると考えられる。

今後の材料研究者は個別の物質や材料のみに視点を向けるのではなく、研究成果の需要と原料の安定供給を含めて、より広く物質や材料を考えていく視点を持つことが求められる。供給に不安のある物質や材料を用いる研究では、常に、安定供給を見込める物質や材料での代替の可能性も探っていくべきであり、その際今一度、物性物理の基礎に立ち戻って研究し直すことが大切である。

希少金属資源に関する 我が国の採るべき方策

河本 洋

ナノテクノロジー・材料ユニット

1 はじめに

希少金属(レアメタル)という言葉は、非鉄金属のうちで量的に希少であるが、産業上さまざまな用途に少量ずつ用いられる金属を指すことが多い。量的に希少という言葉には、埋蔵量が少ないというよりも生産量あるいは供給量が少なく、経済的あるいは技術的な意味を含めて必要とされる量が入手しにくいという意味合いが強い。厳密には定義されていないが、一般には、図表1に示すように¹⁾、31種類の金属元素(群)を指している。

レアメタルは素材産業、機械お

よび電子産業などをはじめとする幅広い産業分野で利用されており、我が国の産業分野を支える高付加価値製品の部材の原料であり、近年需要が拡大している。しかし、新興国においても著しく需要が拡大していることや、そもそも他の金属と比較して、その存在自体が希少であるとともに、生産地の偏在性ゆえに特定の産出国への依存度が高いなどの特徴から、我が国の中長期的な安定供給確保に対する懸念が生じている^{2, 3)}。

レアメタルの需要と供給のバランスは、製品のリサイクルや代替材

料の開発などさまざまな問題が関係しており、すぐには解決策を出しにくい問題である。しかも、これは資源研究あるいは資源開発の関係者のみが解決しうる問題ではなく、材料科学などの研究分野にも大きな影響が出はじめるであろう。

一方、レアメタルの確保に関しては、我が国でも、古くから開発が行なわれてきた小規模鉱山や、排他的経済水域(EEZ: Exclusive Economic Zone)をはじめとして、我が国の権益の及ぶ水域に存在するさまざまな鉱物資源の可能

図表1 周期律表におけるレアメタルの一覧

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|--------------------------|--------------|---------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|----------------|-------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-----|----|--|
| H | | 希土類元素(レアース: Sc、Y、ランタノイド) | | | | | | | | | | | | | | | | He | |
| Li リチウム | Be ベリリウム | | | | | | | | | | | B ホウ素 | C | N | O | F | Ne | | |
| Na | Mg | Sc スカンジウム | Ti チタン | V バナジウム | Cr クロム | Mn マンガン | Fe | Co コバルト | Ni ニッケル | Cu | Zn | Ga ガリウム | Ge ゲルマニウム | As | Se セレン | Br | Kr | | |
| K | Ca | Y イットリウム | Zr ジルコニウム | Nb ニオブ | Mo モリブデン | Tc | Ru | Rh | Pd パラジウム | Ag | Cd | In インジウム | Sn | Sb アンチモン | Te テルル | I | Xe | | |
| Rb ルビジウム | Sr ストロンチウム | La ランタノイド | Hf ハフニウム | Ta タンタル | W タングステン | Re レニウム | Os | Ir | Pt 白金 | Au | Hg | Tl タリウム | Pb | Bi ビスマス | Po | At | Rn | | |
| Cs セシウム | Ba バリウム | Ac アクチノイド | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Uub | Uut | Uuq | Uup | Uuh | Uus | Uuo | | |
| Fr | Ra | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ランタノイド | | La ランタン | Ce セリウム | Pr プラセオジウム | Nd ネオジウム | Pm プロメチウム | Sm サマリウム | Eu ユロピウム | Gd ガドリニウム | Tb テルビウム | Dy ダイズプロジウム | Ho ホルミウム | Er エルビウム | Tm ツリウム | Yb イットリビウム | Lu ルテチウム | | | |

(注) 大きい文字(カタカナ名付き)の非鉄金属元素群(30種類)と、スカンジウム、イットリウムおよび15種類のランタノイドがレアメタル。

参考文献¹⁾ 掲載図表を科学技術動向研究センターにて改変

性が以前から指摘されてきた。しかし、需要の少なかった時代には、その多くは経済的に成り立たないという理由から閉山を余儀なくされ、あるいは新規開発が見送られた。ところが近年の需要の伸びから、これらについても再検討の必要性が生じている。

特に今後の海底資源の開発は、

レアメタル資源の安定供給の観点からも重要な課題であると考えられるようになってきている。2007年7月20日に施行された「海洋基本法」は、海洋に関する施策を総合的かつ計画的に推進して我が国の経済社会の健全な発展を図ることなどを目的としたものであるが、海洋に関する科学的知見の充実、

海洋資源開発も含めて海洋の積極利用などが謳われている⁴⁾。

このような背景も含めて、本論ではレアメタルの現状を俯瞰し、今後、特に我が国が考えて行くべきことを短期的および中長期的の両面から指摘したい。

■用語説明■

レアメタル : 地球の地殻表面に存在量が少ない金属や、量は多くても経済的あるいは技術的に純粋なものを取り出すのが難しい31種類の非鉄金属元素(30鉱種および1鉱種としてのレアアース)であり、産業に利用されているもの。ただし、非鉄金属のなかでも利用量の多いベースメタルや、利用量が少なくても高価な貴金属は含まない。

レアアース : 希土類と呼ばれる元素を指し、2種類の周期律表3族元素(スカンジウム、イットリウム)と15種類のランタノイド(ランタン、セリウム、プラセオジウム、ネオジウム、プロメチウム、サマリウム、ユウロビウム、ガドリニウム、テルビウム、ディスプロシウム、ホルミウム、エルビウム、ツリウム、イッテルビウム、ルテチウム)を合わせて17種の元素をいう。レアメタルのなかでは、レアアースは17元素を総括して1鉱種と定義している。

ベースメタル : 鉄に次いで利用量の多い、銅や亜鉛、アルミニウムなどの非鉄金属を指す。

2 レアメタルと我が国の産業技術

我が国の対外貿易収支は、素材産業、機械および電子産業などの産業分野に大きく依存しており、その結果、世界有数の非鉄金属消費国となっている。銅、鉛、亜鉛などのベースメタルはもちろんであるが、タングステン、コバルトなどのレアメタルも、我が国の国民生活および産業活動に必要不可欠な鉱物資源である。これらのレアメタルの供給障害は、我が国の重要産業の一部に重大な影響を及ぼす。

特に需給が話題になっているレアメタルの例として、インジウムが挙げられ、これは液晶テレビ、携帯電話、太陽電池の透明電極に使用されている。インジウムの用途と需給の現状を図表2に示す^{5, 6, 7)}。インジウム地金の主たる供給元であったフランスが生産をストップしたことから、新地金の供給元はほぼ中国だけになり、また、プラズマTVの需要増などによって、今後も価格上昇は続くとの見

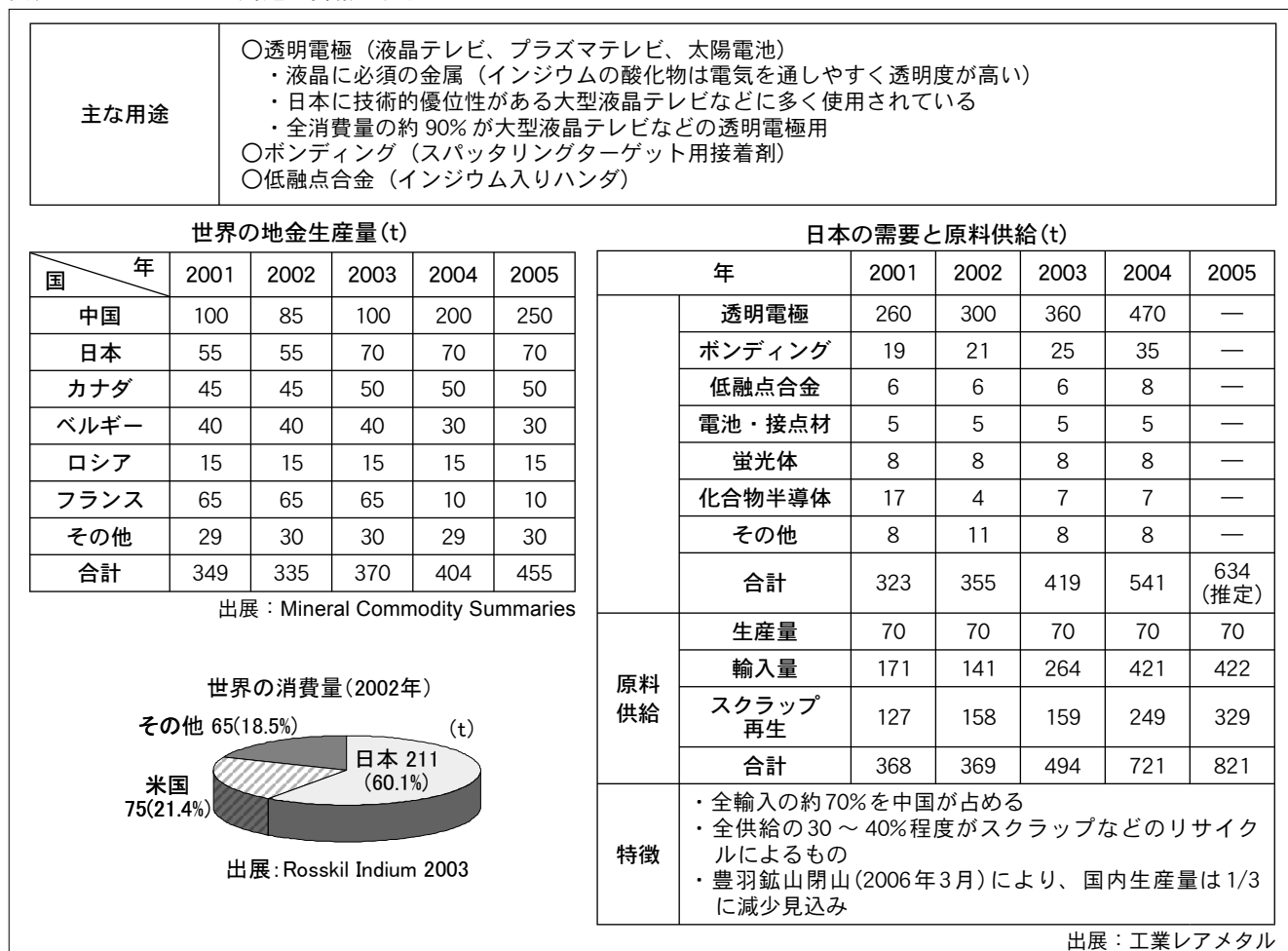
方がある。一方、後述するように、インジウムは、鉛・亜鉛などの随伴鉱(鉛・亜鉛鉱の副産物)であることから、中国の旺盛な鉛・亜鉛の需要により、今後、中国の亜鉛需要増に対応して、世界的に鉛・亜鉛鉱の採掘量が増加し、それにより副産物であるインジウムも増産され、価格が沈静化しつつある。このような複雑な事情のため、今後の価格動向は不透明であり、今後の需給とのバランスを注視する必要がある。

また、レアメタルの中で、特にレアアースは特定の用途にのみ用いられるという傾向がある。図表3に、レアアースの用途と需給の現状を示す^{5, 6, 7)}。例えば、ハードディスク、ハイブリッド自動車のモーターには、希土類磁石(特にNd-Fe-B磁石:ネオジウム-鉄-ボロン磁石)が用いられているが、希土類磁石の需要増により、主要成分のネオジウムのみならず、添加されることによって高

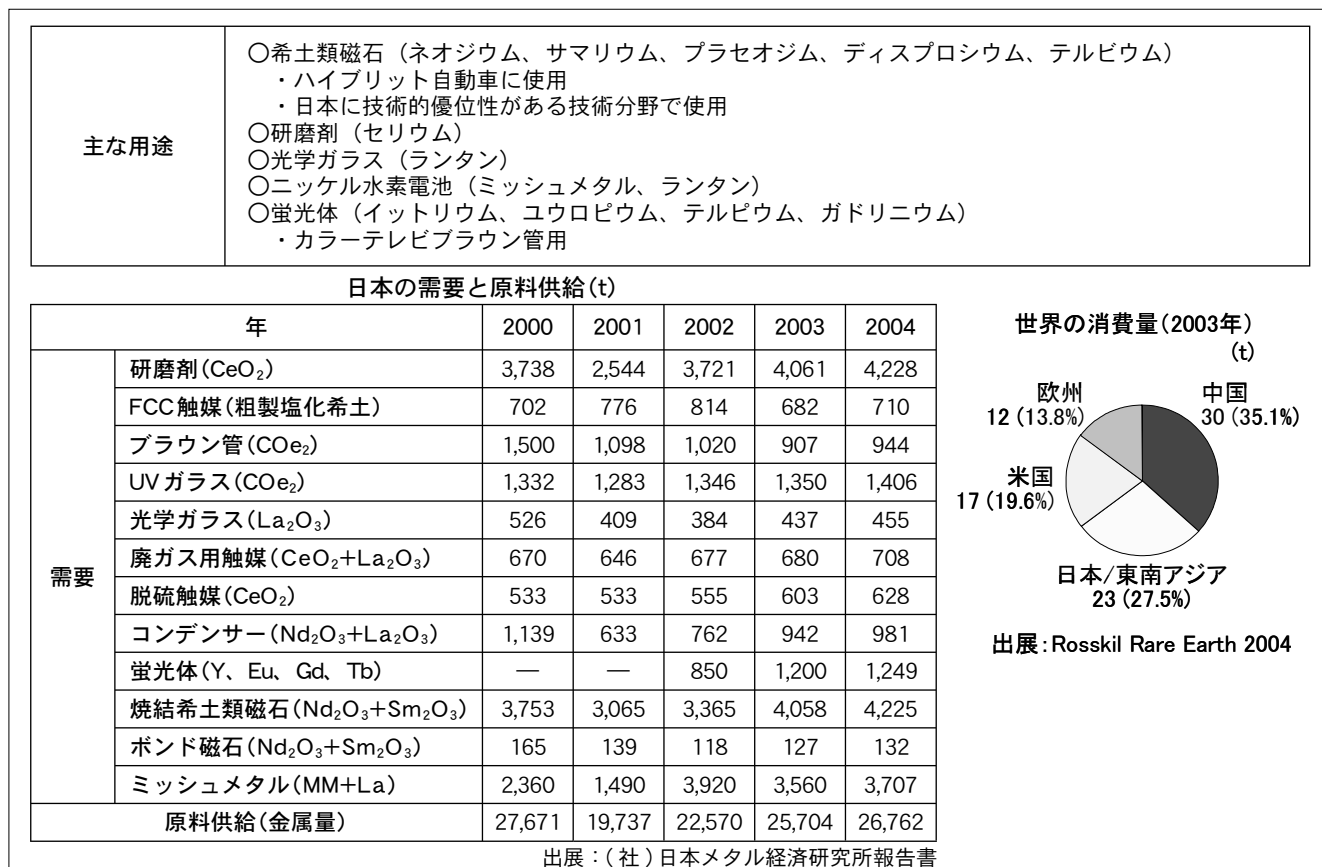
温域での保磁力・磁束密度を高める元素であるディスプロシウムおよびテルビウムの重要度が増している。特にディスプロシウムは、特性向上のために不可欠な元素になっている。現在、これに匹敵する高機能の代替磁石は、研究開発の段階にすら見出されていない。

我が国のレアアース原材料は100%輸入で、中国品が約90%を占めている。その一方で、我が国の家電・電気器具、携帯電話機器、自動車などのレアアース製品を使用する企業および部品メーカーの中国移転が進められている。高度経済成長を続ける中国のレアアース使用製品市場も、当分の間、拡大発展すると思われる。一方、中国進出を行っていない日本の各レアアース使用製品関連企業にとっては、中国からの原料の安定供給とともに、中国市場へ販路拡大している商品とは異なったものの開発が求められている。

図表2 インジウムの用途と需給の現状

参考文献^{5,6,7)}掲載図表を科学技術動向研究センターにて改変

図表3 主なレアアースの用途と需給の現状

参考文献^{5,6,7)}掲載図表を科学技術動向研究センターにて改変

3 レアメタル資源消費の現状と今後

3 - 1

レアメタル資源の偏在

レアメタル資源は世界的に見て産出地がかなり偏在している。しかし、それでも比較的大量に用いられるレアメタルについては、供給情報がかなり明確になっている(図表2、3、4)。例えば、ニッケルでは、従来はロシアやカナダなどの鉱床が主だったが、最近、新しい抽出方法が開発されて、熱帯のインドネシア、フィリピン、ニューカレドニアなどで産出する低品位鉱石からも抽出、回収できるようになり、将来的には資源供給面にあまり心配がなくなってきた。

た。クロムは、南アフリカが世界の生産量の約半分を占めるが、日本企業も進出をしているため、我が国としてはあまり不安がない元素となっている。コバルトも、コンゴ、ザンビア、南アフリカなどの諸国の資源が市場に出てきているため、当面は供給の心配がない。一方、極端に地域的な偏在があるために、我が国で大きな供給不安がある代表的元素としては、タングステン、ディスプロシウムが挙げられる。タングステンは、中国が世界の9割を生産および輸出をしている。また、ディスプロシウムも含めた希土類元素の93%も中国で生産されている。

例えば、インジウムに関しては、

実は埋蔵量はさほど少ない元素ではなく、かつ産出国も多く(図表2、5)、かつては我が国が世界1位の産出国であった。インジウムのような元素は、ひとつの鉱山の閉山などの影響で需給状況が大きく変動してしまうリスクがあるため、素材のスクラップ再生品が大きな安定供給源になっている。

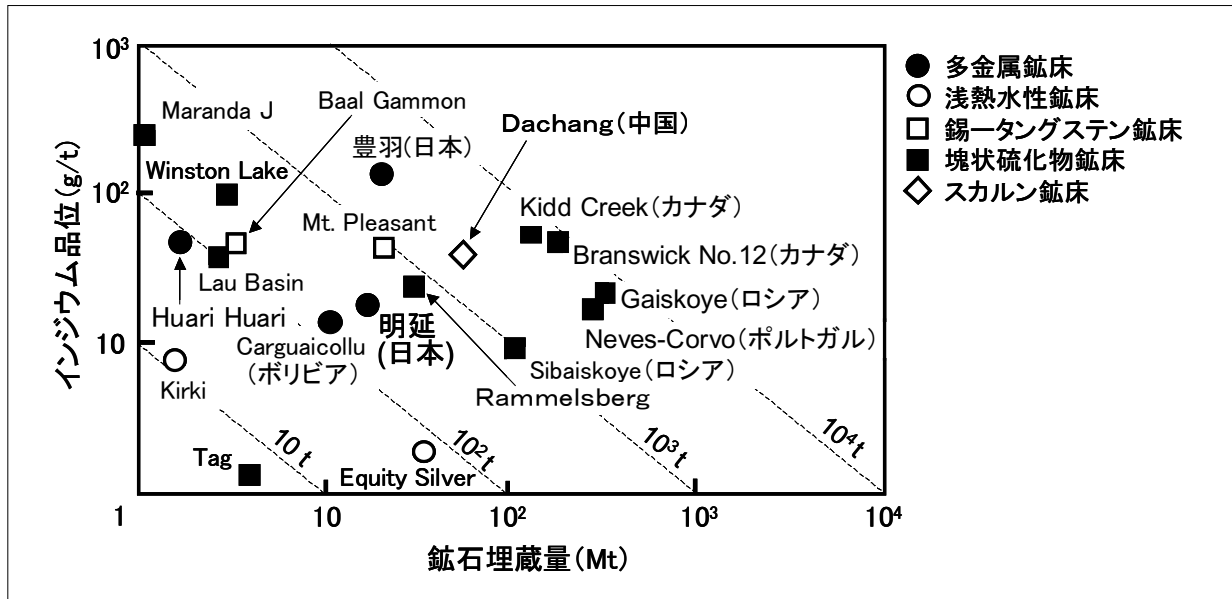
レアメタルに限らず金属全体を地域的に見て、現在、中国が世界の圧倒的な資源国である。アンチモン、ビスマス、カドミウム、鉛、マグネシウム、モリブデン、希土類、錫、タングステン、バナジウム、イットリウム、亜鉛、チタンなどにおいて埋蔵量が世界第1位、銀、インジウムが第2位、銅、金、リ

図表4 レアメタルの主な生産国と我が国の輸入先

| 鉱種 (備蓄有無) | 生産国 (2005年) | 主要輸入先 (2005年) | 中国の動向 | 備考 | 我が国の シェア(順位) |
|-----------------|------------------------------|---|--------------------------|--|----------------------|
| ニッケル (備蓄有) | ロシア 22% カナダ 15% 豪 14% | インドネシア 44% フィリピン 14% ニューカレドニア 13% | ステンレス生産の拡大により輸入が急増 | ・LME上場金属 ・我が国企業による採鉱開発あり | 2位 1位：中国 3位：米国 |
| クロム (備蓄有) | 南ア 43% インド 19% カザフ 19% | 南ア 49% カザフ 26% インド 9% | 輸入量が年々拡大 | フェロクロム生産で我が国企業の南ア進出例あり | — |
| タングステン (備蓄有) | 中国 90% | 中国 79% | 国内需要を優先 | 中国の付加価値政策で鉱石の輸入が激減 | 4位 1位：中国 2位：米国 |
| コバルト (備蓄有) | コンゴ 31% ザンビア 17% 豪 13% | (加工後の製品をフィンランド、豪、カナダなどから調達) | 二次電池需要が急拡大し、コンゴなどから輸入が急増 | ・銅、ニッケルの副産物 ・我が国企業による採鉱開発あり(ニッケル) | 1位 2位：欧州 |
| モリブデン (備蓄有) | 米国 34% チリ 27% 中国 17% | チリ 45% 中国 15% | 中国は輸出国の一つ | ・多くは銅の副産物 ・我が国企業による採鉱開発あり | 3位 1位：欧州 2位：米国 |
| マンガン (備蓄有) | 南ア 22% 豪 14% ガボン 13% | 南ア 47% 豪 23% 中国 19% | 輸入が急拡大中 | ・鉱石確保で南ア企業との提携あり ・シリコマンガン生産で中国企業進出例あり | 5位 1位：中国 |
| バナジウム (備蓄有) | 南ア 42% 中国 34% ロシア 21% | 南ア 49% 中国 25% | 国内大手社で90%生産 | フェロバナジウム生産で我が国企業の南ア進出例あり | 4位 1位：欧州 2位：米国 |
| インジウム (備蓄無) | 中国 55% 日本 15% カナダ 11% | 中国 70% (海外の亜鉛鉱から国内で抽出) | (詳細不明) | 亜鉛の副産物 | 1位(60%) 2位：米国 |
| レアアース (備蓄無) | 中国 93% | 中国 90% | 内蒙古、華南で生産 | — | 2位 1位：中国 |

参考文献^{2,7)} 掲載図表を科学技術動向研究センターにて改変

図表 5 主なインジウム鉱床の存在地と規模 (2002 年時点)

参考文献^{2, 8, 9)} 掲載図表を科学技術動向研究センターにて改変

チウムが第3位と見なされている。

3 - 2

レアメタル資源消費状況と供給障害の問題

そもそも我が国で自給できる鉱物資源は硫黄のみであり、それ以外の全ての金属鉱物資源は輸入に頼っている。近年、新興国を中心に世界の非鉄金属消費量が急激に増加しつつある中で、供給面に問題が多いことが浮き彫りになっている。我が国のような消費国にとって資源の安定供給確保のための環境は、ますます厳しくなりつつある。

まず、歴史的に見て過去50年程度の間、非鉄金属の国際価格は大きな変動を伴いながらも、貨幣価値との相对比较において下落傾向にある。この長期にわたる価格下落傾向のために、資本主義諸国の鉱山の閉山、および探鉱開発活動の低迷があり、これらに関しては今後も早急な生産の回復が期待できない。その一方で近年は、中国をはじめとするBRICs諸国などの消費が急速に伸びはじめ、ここに需給の逆行現象が見られる。

ベースメタルに関してさえ、すでに我が国のユーザーとしての地位は低下しつつあり、我が国はコントロール力を失いつつある。例えば、銅の消費を見ると、我が国は経済規模に沿うような形で、米国に次いで長く2位で安定した消費をしてきたが、中国がまず我が国を抜き、ついで米国も抜き、現在は中国が世界最大の消費国となっている。

このような背景にともなって、海外の非鉄金属資源精製メジャー企業の買収・合併による供給源に寡占化が起こり、また近年は、一部の国での資源ナショナリズムの台頭が見られる。例えば中国は、特にレアアースに関して資源保護政策を採り、急激な輸出規制をはじめている。このような非鉄メジャー企業あるいは資源ナショナリズムが、需給のコントロール力をもちはじめ、我が国のような消費のみの国がコントロール力を失う原因となっており、全体量の少ないレアメタルではその影響がより大きくなる。

一方で消費という観点では、特にレアメタルに関して、我が国が世界の消費の過半を占めるものがいくつかある。例えばインジ

ウムに関しては、我が国が世界の60%を消費しており、我が国以外の主要消費国も米国を除いてはアジアの数ヶ国に限られる。インジウムはディスプレイなどの透明電極材料の用途が主体であるため、このような電子機器の主要生産国とインジウムの消費国が一致している。つまり、世界的に見ると消費地域にも極端な偏在がある。ディスプレイにも同じような事情があり、情報通信機器や携帯電話、パソコンなどに加えて、ガソリンエンジンと電気モーターを組み合わせた動力源で走行するハイブリット自動車の駆動用モーターおよび発電機などの希土類磁石に添加物として多用されているため¹⁾、最大消費国は我が国であって、その他の国々では消費が少ない。図表6に主要金属・資源の高騰状況を示すが^{2, 10)}、ディスプレイやニッケルでは、4年前との比で4倍から6倍の値上がりが起こっている。レアメタルの中で過去に実際に我が国で供給障害が発生した例としては、1997年にバナジウムが約1年にわたり人手困難な状況が継続し、初めて国家備蓄物資が放出されたケース、あるいは、2000年にタン

図表6 主要金属・資源の高騰状況

| 金属種 (地金) | 価格 単位 | 2003年7月 | | 2005年7月 | | 2007年7月 | | 主な用途 |
|-------------|----------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|----------------------|
| | | 価格 | 比率(%) | 価格 | 比率(%) | 価格 | 比率(%) | |
| 銅 | US\$/t | 1710 | 100 | 3614 | 210 | 7540 | 440 | 電線、電子機器、機械 |
| 亜鉛 | US\$/t | 827 | | 1194 | 140 | 3384 | 410 | メッキ鋼板、合金 |
| 白金 | US\$/oz | 690 | | 879 | 130 | 1280 | 190 | 自動車用排ガス浄化触媒、 電子機器 |
| ニッケル | US\$/kg | 8.8 | | 14.6 | 170 | 52 | 590 | ステンレス鋼、二次電池 |
| タングステン | US\$/MTU | 46 | | 145 | 320 | 165 | 360 | 超硬工具、高速度鋼 |
| コバルト | US\$/kg | 23.5 | | 30 | 130 | 70 | 230 | 耐熱合金、二次電池 |
| モリブデン | US\$/kg | 11.5 | | 66.6 | 580 | 65 | 570 | 構造用合金、パイプ |
| インジウム | US\$/kg | 183 | | 899 | 490 | 700 | 380 | 透明電極(液晶、太陽電池) |
| ネオジウム | US\$/kg | 6.8 | | 11.7 | 170 | 24 | 350 | 希土類磁石 |
| ディスプロシウム | US\$/kg | 25 | | 65 | 260 | 90 | 360 | 希土類磁石 |

(注) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)ホームページ¹⁰⁾より作成。

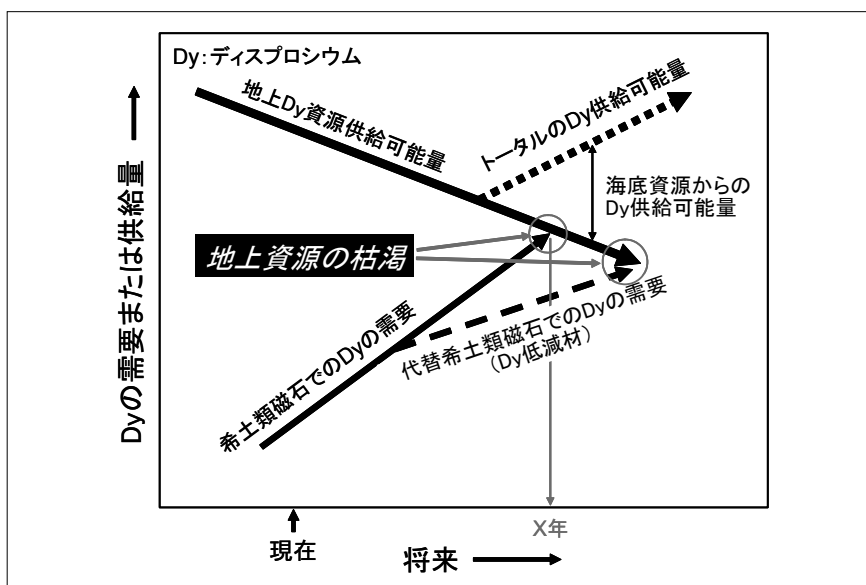
MTU: Metric Ton Unitの略であり、別名Kilo Tonとも言う。タングステン(W)鉱石の相場は鉱石1トン中のWO₃純分1%(10kg)の価格で表示される。

参考文献²⁾掲載図表を科学技術動向研究センターにて改変

タル不足により、国内コンデンサ製造企業が出荷停止のやむなきに至ったケースがある³⁾。

図表7に、希土類磁石を例にして、ディスプロシウムの需要と供給の関係を予想した模式図を示す。これは、ディスプロシウムの可採埋蔵量は有限であるので、今後の需要が急速に拡大した場合、この資源の枯渇が懸念されることを模式的に示したものである。現在、希土類磁石はハードディスク、産業用モーター、ハイブリッド自動車などに使われているが、今後特にハイブリッド自動車での急速な用途拡大が予想されている。希土類磁石向けの国内のディスプロシウム需要量は2004年度で約260tである¹¹⁾。1台当たり平均で2kgの希土類磁石が使用されて、磁石のディスプロシウム含有量を10%と仮定した場合には¹⁾、2010年には、ハイブリッド自動車の生産が年間120万台と予想されているので¹²⁾、年間240tのディスプロシウムが必要になる。すなわち、2010年には、ハイブリッド自動車のみで2004年度の全使用量が必要になる。希土類磁石がハイブリッド自動車以外の工業製品で使用されることを考える

図表7 希土類磁石におけるディスプロシウムの需要と供給の関係を予想した模式図



科学技術動向研究センターで作成

と、ディスプロシウムの需給はタイトに成らざるを得ない。単純にレアアースの埋蔵量から¹³⁾、その可採埋蔵量と鉱石のディスプロシウムの含有量、精錬時の歩留まりなどを仮定してディスプロシウムの供給総量を算出すると、数十年間は問題がないと判断されるが、ハイブリッド自動車以外の工業製品での需要拡大を考慮すると、ディスプロシウムの使用量を低減した磁石の開発のスピードを速めることや、可採埋蔵量を増やす努力が将来に不可欠となろう。

短期および中期的には、永久磁石としての保磁力向上には必須であるディスプロシウムの代替技術が現れる可能性はほとんどなく、ディスプロシウムの使用量を低減した磁石の開発が見込めるのみである。

3 - 3

レアメタルのリサイクルと消費量低減の状況

エネルギー資源と異なり、鉱物資源にはリユース、リサイクルと

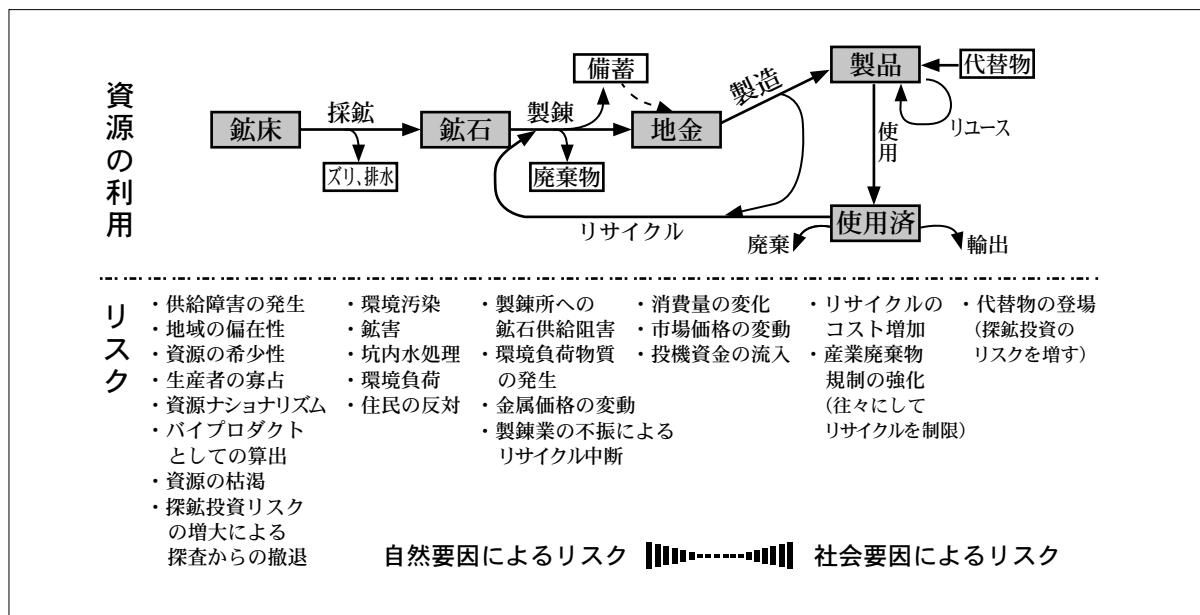
いうプロセスがあり、これらは資源の利用効率を高めることに役立っている。また、一部のレアメタルに限られるが、我が国では、民間備蓄および国家備蓄がなされている。しかし、レアメタルの中にはリサイクルが経済的に成り立たないものもある。また、有力な代替物が出現した場合、突然に経済規模が急激減少することがあり、探鉱投資のリスクを増す結果となってい

る。それぞれの段階におけるリスクの軽減を複合的に組み合わせ、資源の安定供給を図っていくしかない。

鉱物資源の供給とリサイクルにおけるリスクを図表8に示す^{2,3)}。鉱床を探索し、採鉱して鉱石をつくり、選鉱して地金にする製造プロセスでの残渣および使用済み製品がリサイクルされる。その他には、備蓄をして、一部これを供給

したり、代替物を模索するなどのさまざまなプロセスがある。そこには種々のリスクが伴うが、大きくは自然要因によるリスク、社会要因によるリスク、探査をするリスクなどがある。例えば、価格高騰のような上流のリスクにおいては、供給障害などというリスクは実際には発生しない。

図表8 鉱物資源の供給・リサイクルとリスク



参考文献^{2,3)}より引用

4 今後のレアメタル資源安定供給に関する取り組み

4-1

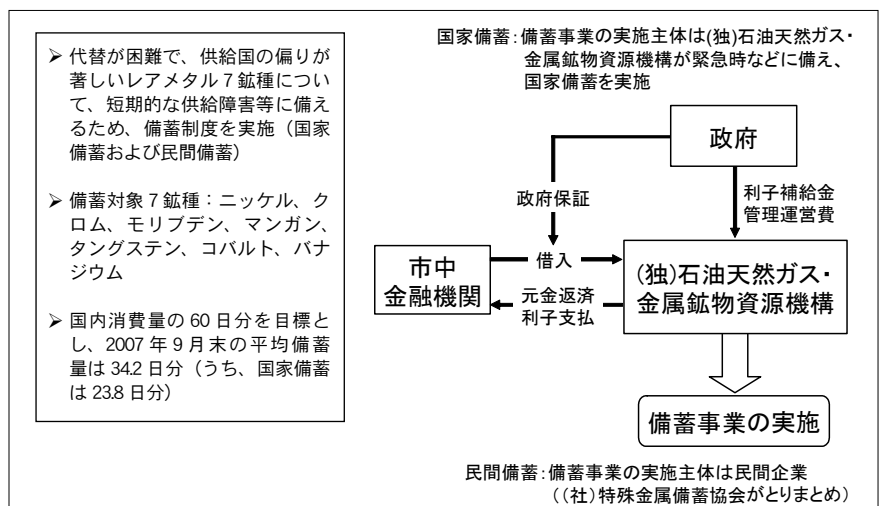
これまでの鉱物資源政策

資源エネルギー庁は2005年12月に「資源戦略研究会」を立ち上げ、タングステン、レアアース、インジウムなどのレアメタルについて、産出鉱物の特徴、予想されるリスクの種類、アクションの取り方など、図表8に示した上流から下流まで、中長期的対策を検討した。それらの議論は、「総合資源エネルギー調査会鉱業分科会」における議論に引き継がれている。2006年6月、資源エネルギー庁から報告された「非鉄金属資源の安定供給確保に向けた戦略」におい

て、①探鉱開発の推進、②リサイクルの推進、③代替材料の開発、④備蓄などが整理され、現在これ

に基づいた具体的な対策が進められている¹⁴⁾。レアメタル備蓄制度の概要については図表9にその概

図表9 レアメタル備蓄制度の概要



参考文献²³⁾より引用

要を示す²³⁾。これらの鉱物資源政策関連予算は、2006年度予算額で64.6億円、2007年度予算額で70.7億円である。

我が国の資源政策を代表してきたキーワードは「安定供給の確保」であり、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)が実施してきた、国内外における探鉱への助成・融資、地質構造調査、途上国への専門家派遣・技術協力、国内におけるリサイクル関連技術開発、探鉱準備金制度、海外での鉱物関連情報の収集など、さまざまな施策の組み合わせにより、「安定供給の確保」を実現しようとしてきた。非鉄金属価格についても高いまま推移すると考えられるが、レアメタルに関しては、2007年度より新規でリサイクル技術の開発と代替材料の開発に予算がつき、2008年度概算要求では資源開発にも新規で予算の配分が行われている。

我が国へのレアメタルの安定供給を確保するため、経済産業省が中心となった中長期的対策として、以下のような施策が実行され

は始めている。まず、海外資源開発権益の確保を強めるため、探鉱開発支援策を講じるとともに、資源外交的なアプローチにより、資源国に対する直接的な働きかけを強化する。次に、国内における供給力の確保などを図るため、リサイクルを資源の下流から上流への還流として推進するとともに、これまでリサイクルが困難とされてきた廃棄物に関するリサイクル技術の開発、さらに、供給の制約が予想される材料を対象とした代替材料の開発が着手されている。

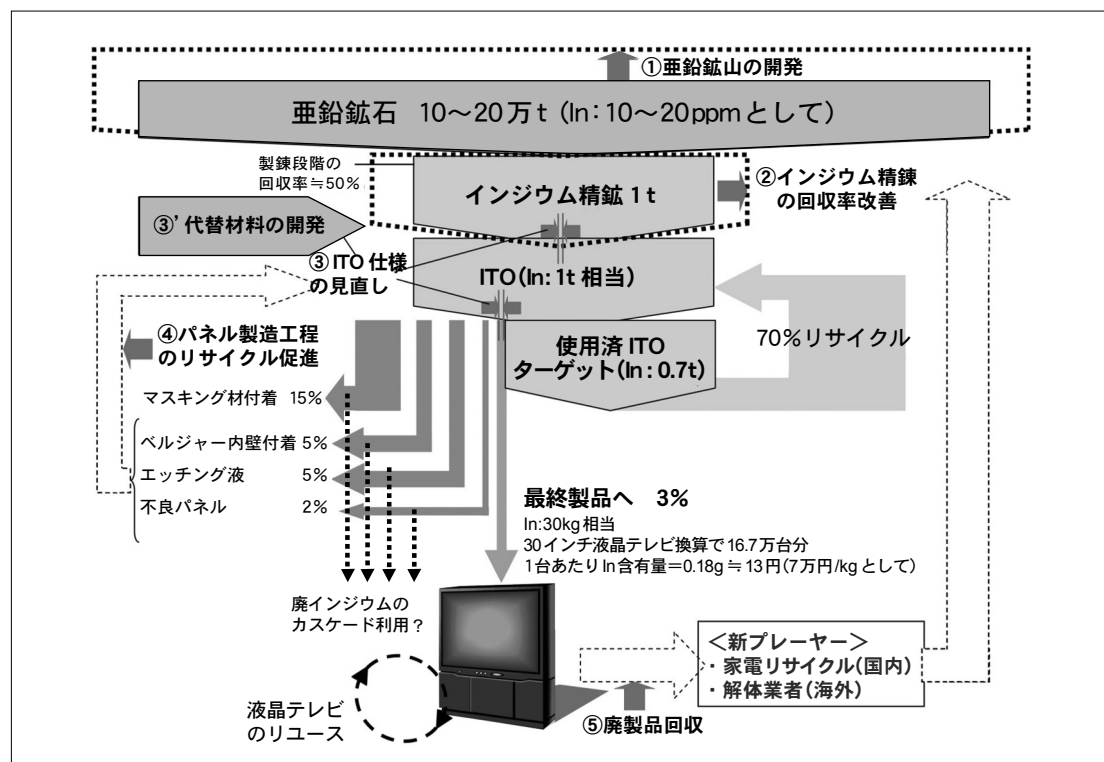
4-2

短期的に取り組むべき問題 —リサイクル・情報・マーケット—

(1)特にレアメタルの場合、個々の元素ごとに、資源の上流側(地質・資源情報の提供側)、下流側(消費側)、および還流側(リサイクルなど)の3者がリスクを分け合って、お互いに参入し合うという構造が必要である。我が国としては、そ

の仕組みを確立するとともに、関連する企業のために、資源情報の収集と解析を通じた、スピーディかつ的確な世界の鉱業情勢の把握を行う必要がある。具体的には、まず、政府関連機関を活用して、地質・資源情報の整備を進め、次に生産量とマテリアルフローの調査分析を詳細かつ緻密に継続すべきであり、これらによって、はじめて価格決定のメカニズムが明確化できる。例えば、インジウムのリサイクルシステムについては、最近、詳細な検討がはじめられており¹⁵⁾、ディスプレイパネルなどからの再生は効率が悪すぎて現実的ではないが、製造途中の再生リサイクルが有望との試算が出されている。この例として、図表10にディスプレイパネルのライフサイクルにおけるインジウムのリサイクル検討例を示す¹⁵⁾。ここでは、使用済み液晶テレビや液晶型パソコン、携帯電話用液晶モニターなどからの

図表10 ディスプレイパネルのライフサイクルにおけるインジウムのリサイクル検討例



参考文献¹⁵⁾から転載

ITO (Indium Tin Oxide: 錫添加酸化インジウム) の回収、パネル製造工程の機器に付着する ITO などの回収などを検討している。液晶パネルに含まれるインジウムは少量であるために、パネルからのリサイクルは採算に合わないうえに、技術的な困難さなどからも回収は進んでいない。したがって、パネル生産工程の使用済みターゲットが主な回収元となる。しかし、最近のインジウムの高騰に伴い、使用済みパネルからのインジウム回収率さえも上げようとされることが予想される。

(2) レアメタルに関する正確な情報は海外のどこからも得られないものであり、大量消費国である我が国こそが整備すべきものであろう。レアメタルは、従来の安価で多量の供給から、高品質で少量の、安定した供給が求められている一方、技術開発の急激な展開により予期せぬ需給の急変がもたらされる。リサイクルも含め、需給の情報が十分に整備されていない。特にレアメタルの場合は、ベースメタルなどの経験や勘だけでは市場を制御できず、情報量の多さこそが投機的資金の流入を防ぐ唯一の手段であり、流通の主体性を握る鍵である。また、このようなデータに基づく日本国内の備蓄ができるならば、それが不測の供給障害への対策となりうる。レアメタルの場合、ベースメタルと異なって供給源が限られていることから、情報が十分でない場合は、予測不能の現象が起こる可能性がある。また、鉱山開発には通常 10 年程度の時間がかかることから、供給の復旧は容易ではない。しかも多

くのレアメタルは産出国が非常に偏在しており、供給企業の寡占化が進行している。さらに副産物としてしか得られない金属が多く、供給が別の要素により影響を受ける。特に、資源ナショナリズムへの対応としては、「多少高くとも、金さえ出せば買える」というこれまでの常識は今後通用しなくなり、「あっても買えない」という最悪事態も想定しておかなければならない。経済的に見合わないという理由で断念してきた国内での資源開発も再検討する必要性が生じている。このような議論を進めるためにも、まずは正確な情報の整備が必要である。

(3) 上記(2)に関連するが、経済規模の小さなレアメタルは安定したマーケットが確立しておらず、価格決定のメカニズムが不明となっている。世界的には消費の絶対量が少なく、しかも消費地域に偏在があるレアメタルは、世界的な安定マーケットが存在していない。この点において、銅のようなベースメタルとインジウムやディスプレイシウムのようなレアメタルとでは、資源問題に本質的な違いがある。例えば、インジウムは、我が国のような世界一の消費国が今後消費の伸びる中国一国に供給を依存しているという、我が国にとっては非常にリスクの高い構造をもっている元素である。つまり、これらの需給アンバランスによるレアメタル資源供給障害への危機感は、現時点では我が国だけが抱えている問題であり、世界的な共通問題ではない。このような我が国固有の問題は、自ら対策を考えていかななくてはならない。多少の価格変動はあつて

も暴騰が起こることを回避でき、少なくとも供給障害が起こらないような、なんらかの仕組みを自ら考えていかなければならない。このような意味で、レアメタルについての金属取引所を我が国に設置するという案は魅力的である。

4 - 3

長期的に取り組むべき課題 —レアメタル資源の有効 利用と代替技術開発—

上記の短期的な取り組みは、当面の供給障害を回避する手段にはなりうるが、中長期的に絶対量が不足すると予想される元素に関しては、材料研究開発の根本的見直しも開始すべきである。文部科学省と経済産業省は、2007 年度よりそれぞれ「元素戦略プロジェクト」および「希少金属代替材料開発プロジェクト」を開始している。両プロジェクトは、「第3期科学技術基本計画」の重点推進4分野のひとつである「ナノテクノロジー・材料分野」に列挙される「戦略重点科学技術」のうち、「資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術」の研究開発に位置付けられるものである¹⁶⁾。文部科学省と経済産業省は、この研究領域に対し、基礎から実用化まで広範囲に展開できる支援体制を確立して効果的な研究開発を実施するため、下記のとおり公募段階から連携を取って両プロジェクトを進めている¹⁷⁾。これらの成果のフォローも連携して進めていくことが望ましい。

文部科学省「元素戦略プロジェクト」

このプロジェクトでは、物質・材料の機能・特性の発現機構を明らかにすることで、希少元素や有害元素を使うことなく、高い機能をもった物質・材料を開発することを目的として、豊富で無害な

図表 11 「元素戦略プロジェクト」採択課題の一覧

| 課題名 | 代表機関 | 参画機関 | 概要 |
|--------------------------------|-----------------|---|---|
| 亜鉛に替わる溶融 Al 合金系メッキによる表面処理鋼板の開発 | 東京工業大学 | 東北大学、(独)物質・材料研究機構、JFE スチール(株)、新日本製鉄(株)、日本軽金属(株) | 亜鉛を代替する Al 合金系の表面処理技術を開発する。現状の技術、製造設備を活用して、豊富で無害な元素である Al - Mg - (Zn, Si) 系合金による表面処理技術を確立する。 |
| アルミ陽極酸化膜を用いた次世代不揮発性メモリの開発 | (独)物質・材料研究機構 | (株)日本 GIT | 次世代メモリ候補として有望な抵抗変化型メモリ (ReRAM) をアルミニウムの陽極酸化により実現し、プラセオジム、セリウム、ルテニウム、ビスマスなどの希少・有害元素を代替する。 |
| サブナノ格子物質中における水素が誘起する新機能 | 東北大学 | 福山大学、岩手大学、九州大学、電気磁気材料研究所、トヨタ自動車(株)、日鉱金属(株)、(株)本田技術研究所、旭エンジニアリング(株)、フューチャード(株)、昭栄化学工業(株)、(株)東芝 | 水素の効果を多面的に理解するとともに、それぞれの材料の特性を飛躍的に向上させることを目的として、Al 系、Cu 系、Ti 系合金において、水素吸放出熱処理により結晶粒微細化による特性の向上を図る。また、サブナノ格子物質中に固溶した水素が誘起する新機能について検討し、材料への応用の可能性を追求する。 |
| 脱貴金属を目指すナノ粒子自己形成触媒の新規発掘 | (独)日本原子力研究開発機構 | ダイハツ工業(株)、北興化学工業(株)、大阪大学 | 自動車排出ガス浄化触媒や有機合成触媒中の貴金属(パラジウム、ロジウム、白金)の大幅削減、さらには、脱貴金属触媒の実用化を目指す。ナノ粒子特有の高触媒機能を発現させ、貴金属使用量の大幅減、最終的には脱貴金属触媒を目指すと同時に、使用環境に応じた最適なナノ粒子合成技術を確認する。 |
| 圧電フロンティア開拓のためのバリウム系新規巨大圧電材料の創生 | 山梨大学 | 東京工業大学、京都大学、東京理科大学、(独)産業技術総合研究所、キヤノン(株) | 鉛系圧電材料を凌駕し、有害な鉛やビスマスのみならず、シリコンプロセスに不適なカリウム、ナトリウム、リチウムを含まないバリウム系新規巨大圧電材料を創生する。組成相境界設計とドメイン構造制御技術シーズに基づき、新デバイス開発に向けた材料・電気・機械にまたがる新たな応用分野を開拓する。 |
| ITO 代替としての二酸化チタン系透明導電極材料の開発 | (財)神奈川科学技術アカデミー | 東京大学、旭硝子(株)、豊田合成(株) | 透明電極に必須の ITO を二酸化チタン系透明導電体 (TNO) で代替することを目指し、実用法 (スパッタ法および CVD 法) を用いて同材料をガラス上に成膜するためのプロセスを確認する。また、TNO の青色発光ダイオード用透明電極としての可能性を追求する。 |
| 低希土類元素組成高性能異方性ナノコンポジット磁石の開発 | 日立金属(株) | 名古屋工業大学、九州工業大学、(独)物質・材料研究機構 | ディスプロシウムなど重希土類元素を用いず、ネオジムなど希土類元素使用量も低減した、低希土類元素組成で実現できる全く新しい磁石材料の開発を目指す。飽和磁束密度の高い軟磁性相と保磁力の高い硬質磁性相をコンポジット化した高性能異方性ナノコンポジット磁石を開発する。 |

参考文献¹⁸⁾ の掲載図表を科学技術動向研究センターにて改変

元素による代替材料の研究、戦略元素の有効機能の高度活用、元素有効利用のための実用材料設計技術、という研究が想定されている。このプロジェクトにおいては、5 年の研究期間の終了後に、実用化に向けた研究段階に移行することを目標として、基礎的・基礎的な研究を推進する。このため、完全代替技術の開発や使用量の大幅低減などを目指すことを原則としている。

研究開発プロジェクトテーマを公募し、54 件の応募の中から、審査の結果、図表 11 に示した 7 件を採択した¹⁸⁾。

経済産業省「希少金属代替材料開発プロジェクト」

このプロジェクトでは、レアメタルの総合的な対策の一部として代替・使用量低減を目指し、「資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術」を狙うとともに、基礎から実用化までのシームレスな支援体制を確立するものである。研究開発の目標は、2011 年度までに、以下に述べる 3 鉱種の使用原単位を目標とする割合まで低減できる製造技術、および、それをユーザー企業、大学などの外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで試料提供できる水準に至るまでの技

術を確認することである。なお、製品の機能や製造コストは現状より悪化しないことを前提としている。対象としては、透明電極向けインジウム（現状から 50% 以上低減）、希土類磁石向けディスプロシウム（現状から 30% 以上低減）、超硬工具向けタングステン（現状から 30% 以上低減）の使用量低減技術について、それぞれ研究開発プロジェクトテーマを公募し、11 件の応募の中から 5 件が選ばれた¹⁸⁾。

上記のような研究開発は、即効性は期待できないものの、本論の本質的な解決策を模索するうえ

で、我が国の科学技術政策上、不可避の重要な課題である。これらの取り組みは中長期的に画期的な変革を求められているものであり、特定レアアースを他のレアアースで行なう程度の代替技術開発は、問題の本質的な解決につながらないため、対象とはされていない。ハードルは高くとも、革新的な成果が志向されるべきであろう。

しかし、抵抗値や安定性の点でインジウム系を置き換えられる薄膜電極は、今のところ発見されていない。また、永久磁石材料も、ネオジウム・鉄・ボロン (Nd-Fe-B) 系が開発されてから 20 年間以上、これを上回る磁石材料が発見されていないうえ、温度特性などを向上させる添加元素については、今後たとえ置き換えができて、別のレアメタルに置き換えられる程度であって、資源問題を根本的には解決し得ない可能性もある。これらの材料系は、今一度、物性物理の基礎に立ち戻って研究し直すフェーズにあるかもしれない。特に永久磁性材料の研究は、永久磁石としての保持力や角型比といった特性を、物性物理の根本から研究し直す必要があるだろう。そのためには、おそらく従来から続けられている冶金的なアプローチだけでは不十分であり、計算機シミュレーションなどを用いて元素から根本的に考え直すような、全く新しい発想をもたらす研究者が参加する必要があるだろう。このような研究は上記のプロジェクト以外の材料、物理、化学分野の研究者の課題といえる。

4 - 4

資源開発の見直し —陸上資源—

資源生産の一極集中を見直し、資源ナショナリズムの危険を回避するという意味で、世界的にも資源開発を見直す動きが始まってい

る。鉱山開発は通常 10 年程度の期間を要するが、特にインジウムやディスプロシウムのように、応用拡大が確実視され、かつ、現時点で代替材料の見込みがないものに関しては、再考の必要性が高い。

3 - 2 章で述べたように、資本主義諸国の金属鉱山は主に事業性を理由に次々と閉山し、探鉱開発活動全体は長く低迷傾向にあった。しかし、我が国も少し前までは一部のレアメタルに関しては産出国であった。かつて世界有数のインジウム鉱山は我が国の豊羽鉱山(北海道札幌市)であったが、当時の規模以上の採掘は技術的に難しくなったために、2006 年 3 月に閉山した。豊羽鉱山は銀・亜鉛・鉛・インジウムなどを生産していたが、その閉山以降、我が国はベースメタルおよびレアメタル供給のほぼ全量を海外に依存する状況になった。また、豊羽鉱山以外でも、国富(北海道)、竜王第二(長野県)、足尾(栃木県)、遠ヶ根・黒川・馬吉(岐阜県)、明延・生野(兵庫県)、豊栄・尾平(大分県)などの鉱床でもインジウムなどの資源の濃集が知られている¹⁹⁾。

現在までの資源工学では、非鉄金属の総鉱物資源量(究極的に将来とも利用し得ると予想される鉱物資源の総量)を求めることはできていない。鉱床には品位を下げれば鉱量が増えるものとそうでないものがあり、亜鉛・鉛・インジウムなどの鉱山では品位を下げれば鉱量が増える場所がある。効率が良いわけではないが、東南アジア・南米などでは、新たな精錬手法の技術開発により低品位鉱の利用が進められつつある。

タングステンの例でも、1993 年に我が国のタングステン鉱山は全て閉山し、1994 年には資本主義諸国のタングステン鉱山はほとんど閉山した。しかし、最近、タングステン価格の高騰と中国の一極集中への懸念から、北米では閉

山された鉱山の再開や新たな探鉱開発などの動きがある。

レアメタルの場合、海外の産地を見ても、ひとつひとつの事業体はかなり小規模であり、地域開発に根付いたものである。このように考えると、我が国でも地域的な小規模事業としてのレアメタル生産を再考することも必要ではないかと思われる。

4 - 5

資源開発—海底レアメタル 資源開発への期待—

我が国のもうひとつの長期的課題として、海底資源の開発が挙げられる。海底鉱物資源については 19 世紀からその存在が知られていたが、調査が開始されたのは 1950 年代からであり、本格的には 1970 年代に入ってからである。石油や天然ガスを除く海底鉱物資源開発については、我が国では商業的採掘はコスト的に見合わないと言われてきたが、ごく最近、貴金属やレアアースを含む点で再び注目されるようになってきている。我が国は国土に比して EEZ が非常に広く、この水域およびその近傍の海山には、地球上でも最も品位の高い、白金、コバルト、銅、マンガンを含むコバルト・リッチ・クラストが広域に賦存することがわかってきた。また、沖縄トラフや伊豆・小笠原の領海内には金、銀、銅、鉛、亜鉛およびレアメタルの資源となる熱水鉱床があり、陸上の同種の鉱床と品位・規模の面でひけをとらないことも判明した。我が国の陸上の鉱床は、元々は熱水鉱床として生成し、地殻の隆起によって陸上の鉱床となった場所が多い。火山国である我が国は、それゆえに多くの熱水鉱床に囲まれているという利点を有するわけである。また今後、海底の詳細な調査によって EEZ の外への大陸棚延伸が可能になる可能性も

あり²⁰⁾、この地域の資源も注目される。

海洋の利用については2007年7月20日に「海洋基本法」が施行され⁴⁾、2008年1月を目標に海洋基本計画の策定が進行中である。この「海洋基本法」の第四条には、海洋に関する科学的知見の充実が謳われており、「海洋の開発および利用、海洋環境の保全な

どが適切に行われるためには海洋に関する科学的知見が不可欠である一方で、海洋については科学的に解明されていない分野が多いことにかんがみ、海洋に関する科学的知見の充実が図られなければならない」とされている。また、第十七条の海洋資源の開発および利用の推進においては「海底またはその下に存在する石油、可燃性天

然ガス、マンガン鉱、コバルト鉱などの鉱物資源の開発および利用の推進並びにそのための体制の整備、その他の必要な措置を講ずるものとする」とされている。EEZの開発などの推進や海洋調査の推進も謳われている。これらに関する技術開発については、「科学技術動向」2007年3月に詳しい報告がある²⁰⁾。

5 レアメタル資源としての海底鉱物のポテンシャル(特に熱水鉱床への注目)・・・

ここでは、4 - 5節で示した、我が国の海底鉱物のポテンシャルに

ついて、もう少し詳しく述べる。海底資源は、図表12に示すよ

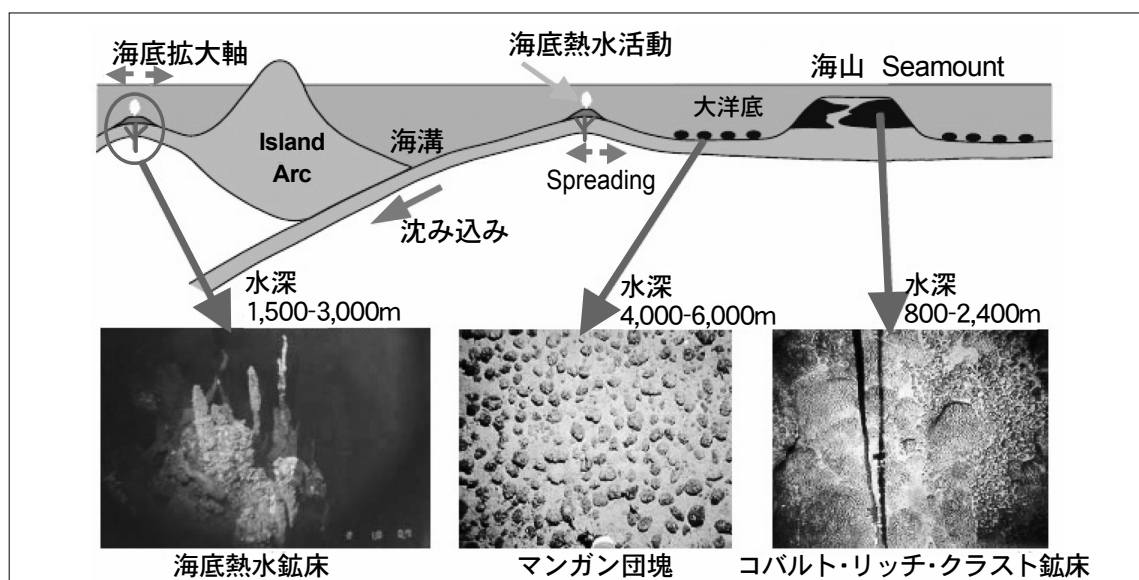
うに、大きく分けて3種類ある²⁾。それらはマンガン・クラスト(コ

図表12 主要な海底鉱物資源の成分と鉱床規模および存在場所

| 鉱物資源の種類 | | マンガン団塊 | マンガン・クラスト | 海底熱水鉱床 |
|-----------|---------|-------------|--------------|---------------|
| 鉱物資源の内容 | 形態 | 直径1～10cmの球状 | 厚さ1～10cmの被覆物 | チムニー、マウンド |
| | 主成分 | 鉄およびマンガン酸化物 | 鉄およびマンガン酸化物 | 鉄、銅、亜鉛酸化物 |
| | 対象金属 | 銅、ニッケル | コバルト、白金、希土類 | 金、銀、銅、亜鉛、鉛 |
| | 成因 | 海水からの化学体積 | 海水からの化学体積 | 高温熱水から沈殿 |
| | 鉱床規模 | ～100km | ～10km | ～1km |
| | 原始資源量 | 5000億t(推定) | 500億t(推定) | 100万t(1箇所当たり) |
| | 形成時期 | <80百万年 | <120百万年 | <百万年 |
| 鉱物資源の存在状態 | 水深範囲 | 3500～6000m | 1000～3000m | 1200～3000m |
| | 大洋別領域 | 太平洋、インド洋 | 西太平洋 | 中央海嶺284、島弧58 |
| | 地質環境 | 堆積速度の遅い深海底 | 海山、海台の露岩域 | 中央海嶺および島弧火山 |
| | EEZとの関係 | 外側の公海上 | 日本のEEZおよび公海 | 日本のEEZおよび公海 |
| 採鉱法の開発状況 | | 現場採鉱テスト済み | 未開発 | ベンチャー企業が検討中 |

参考文献²⁾ 掲載図表を科学技術動向研究センターにて改変

図表13 海底鉱物資源の主な種類と埋蔵場所



参考文献²⁾ より引用 (JOGMEC 資料を科学技術動向研究センターにて改変)

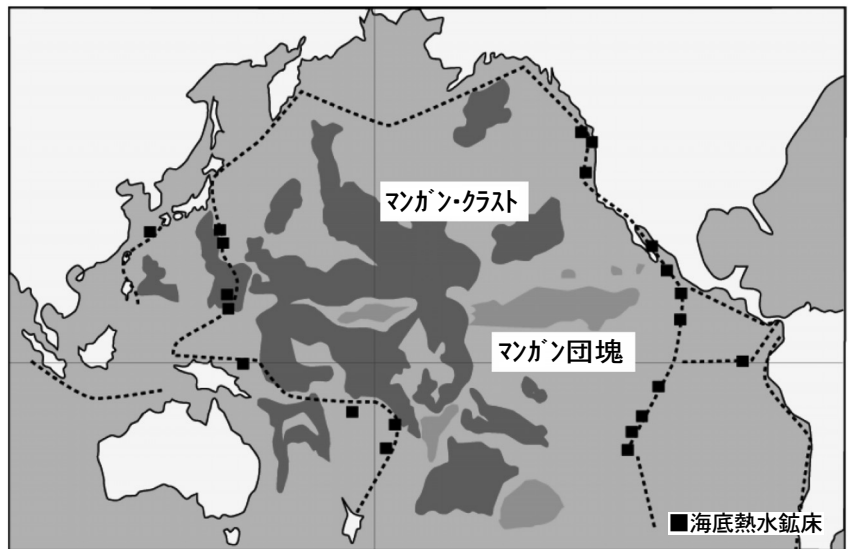
バルト・リッチマンガン・クラストあるいは鉄・マンガン・クラストなどとも呼ばれる)、マンガン団塊、海底熱水鉱床である。図表 13 には海底鉱物資源の主な種類と埋蔵場所を示すが²⁾、注目すべきことは、その形成理由の違いによって、存在場所とその深さが大きく異なる点である。図表 14 に太平洋における海底鉱物資源の分布状況を示す²¹⁾。

マンガン・クラストとマンガン団塊は比較的古くから知られており、かつて盛んに調査および採掘が検討されたことがあるが、深海にあるために資源開発としては莫大な費用がかかり、採算がとれないという結論が出された。また、品位の高いマンガン団塊は公海上にあるという理由もあった。

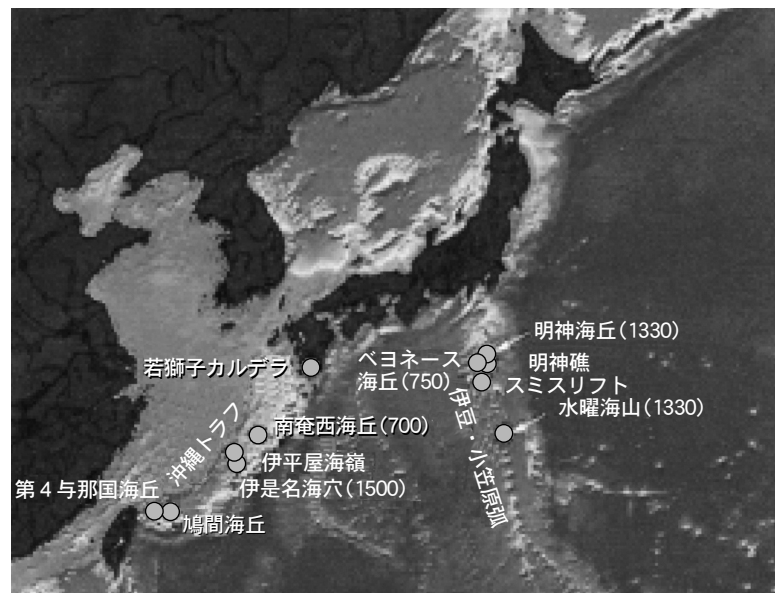
一方、海底熱水鉱床は、チムニーまたはマウンドと呼ばれているが、比較的最近発見されたもので、まだよく調べられていない。これは、比較的浅い海底に存在し、鉱物資源としての品位が高く、また再生するために繰り返し採掘できるという点からも、採算のとれる資源開発ができるのではないかと期待がもたれ、海外ではベンチャー企業が開発に乗り出している。

熱水鉱床は、数十年という比較的短時間で形成されるため、一度採掘しても、数十年後に再び採掘できる可能性がある。海底鉱物資源は陸上よりももちろん採掘が難しいが、このように採掘が繰り返し可能であることが開発のインセンティブになっている。熱水鉱床はマンガン・クラストやマンガン団塊とは組成がだいぶ異なっており、鉄、銅、亜鉛の硫化物から形成されている。重要な点としては、金、銀などの貴金属が含まれていることである。また、銅、鉛、亜鉛も含まれていることは、インジウムなどのレアメタルの含有も期待できる。我が国の陸上の鉱山も、

図表 14 太平洋における海底鉱物資源の分布状況

参考文献²¹⁾より引用

図表 15 日本近海海底熱水鉱床



(注) () 内の数値は熱水鉱床の賦存水深(m)を表す

参考文献掲載図^{21, 22)}を科学技術動向研究センターにて改変

起源は海底の熱水鉱床であったと考えられるからである。存在場所という意味で見ると、現在までに海底の熱水鉱床は世界で 300 か所くらいが知られているが、我が国の EEZ 内にも多い。我が国の周辺の海山のものは特に金銀の含有量が高いといわれ、また、比較的浅いところに存在するという利点がある。また、大陸棚延伸²⁰⁾により、検討範囲が増えることが期待されている。

図表 15 に現在まで発見されている我が国近海の海底熱水鉱床を

示す^{21, 22)}。太平洋の熱水鉱床のほとんどは中央海嶺に、我が国の EEZ に比べると相対的に深いところにある。一方、前述のように我が国周辺の海底熱水鉱床では金銀の含有量が高く、しかも浅いところにあるということで注目を浴びており、最近では海外のベンチャーが鉱区の申請をはじめている。我が国の周辺で特に注目されているのは、サンライズ鉱床、白嶺鉱床、沖縄の伊是名海穴熱水域などである。現在、資源エネルギー庁の指導の下に、JOGMEC

が第2白嶺丸に搭載された海底設置型の掘削装置を使って資源調査を実施している。資源量を埋蔵量という形にするためには継続的に調査が必要で、稠密なボーリングによって、深さ方向および平面的な広がりについて調べる必要がある。これらの調査が進めば、民間の企業が乗り出せるかどうか判

断ができるようになると考えられる。採掘の技術としては揚鉦、つまり、海底から鉦石を揚げる方法が開発されることになるであろう。汚染対策や製錬法のような技術的課題とともに、経済性の課題も大きい。いったんシステムが確立されれば、いくつかの熱水鉦床を順番に採掘できると考えられ

る。ただし、熱水鉱床周辺には珍しい生物も多く見られ、地球上の生物発祥の研究という点でも興味がもたれている。調査段階から、これらの生物に関する研究との調整を図りつつ、採掘方法の検討を行う必要があるだろう。

6 まとめ

以下に、本稿で特に強調したい点についてまとめる。

マーケット機能の確保

ベースメタルには国際的にマーケット機能が働いているため、一時的な高騰はあっても、時間経過によって需給バランスが図られていく可能性が高い。しかし、量的にも地域的にもマイナーなレアアースにはこのような健全な国際マーケット機能が存在していない。例えば、インジウムやディスプロシウムなどはアジア諸国だけしか興味がない元素であるため、国際的な安定マーケットが自然にできあがっていくスキームはない。このようないくつかのレアメタルでは、供給者や需要者が限られているとはいえ、我が国が主導する小規模マーケットの機能を考えていくべきである。

日本の陸上資源開発の再考

レアアースに関しては、そもそも世界市場の全体規模が小さい。世界的に鉱山開発を見ても、個々の地域では埋蔵量が少ないため、大規模開発は必要とされていない。資源供給元のリスク分散も重要であるが、このような条件下では、我が国の陸地あるいは沿岸部のレアアース資源に関しても、地場産業としての小規模の希少資源開発を再考する余地が大いにある。

海底鉱物資源探査とビジネススキームの確立

海底鉱物資源探査は、火山国で島国という地理的に有利な我が国が世界を先導すべき分野である。ベンチャーキャピタルなどの民間資金の活用およびNPO活動などのビジネスモデルを検討し、そのような基盤を確立したうえで、並行して科学的な海底資源探査ができるような、従来にはない新たな研究活動の仕組みを考えていくべきではないだろうか。国はそのような仕組みを確立できたものに対して、優先的に設備の無償貸与などで応える、という形の支援をしていく姿勢が望ましいのではないかとと思われる。

幅広い知見に基づいた材料科学研究

インジウム系以外の薄膜電極材料、Nd-Fe-B系以外の永久磁石材料など、このような革新的材料が存在するとすれば、それらはぜひ我が国で見出したい。ディスプレイやハイブリッド自動車などの大きな将来市場を約束された分野の材料技術においては、物性物理の基礎に立ち戻った材料科学的手法を駆使して、ぜひとも、我が国が世界を先導したい。

材料科学に携わる研究者は、今後、材料を構成する成分に関わる資源の需給に無関心でいることはできない。これからの材料研究者は個別の物質や材料のみに視点を

向けるのではなく、研究成果の需要と原料の安定供給を含めて、より広く物質や材料を考えていく視点を持つことが求められる。少なくとも、資源的に十分な量と安定供給が確保できる見込みがない物質や材料を大量に用いるような応用を目標にした研究は、発展の可能性は低い。供給に不安のある物質や材料を用いる研究では、常に、安定供給を見込める物質や材料での代替の可能性も探っていくべきであろう。前者が後者に代替されることは歴史的な必然である。材料科学に携わる研究者は一時的な研究成果に固執せず、過去の成果への破壊的革新は、自ら手がけていかなければならない課題である。

謝 辭

本論は、2007年7月3日に科学技術政策研究所にて行なわれた講演会「海底希少金属資源の開発と我が国の戦略（東京大学 理学系研究科 浦辺徹郎教授）」の内容に基づき、今後のレアメタル資源安定供給に関する取り組みとしての鉱物資源政策、資源の有効利用と代替技術開発などに関する考察を追加して、科学技術動向研究センターにて取りまとめたものである。情報提供いただいた浦辺徹郎教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) 経済産業省資料「希少性資源の需要動向」、http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/research/h17fy/180208-1_src_1.pdf
- 2) 浦辺徹郎、NISTEP 講演会「海底希少金属資源の開発と我が国の戦略」資料、(2007)
- 3) 浦辺徹郎、「希少金属材料の資源問題と我が国の戦略」、貴金属・レアメタル技術集成、(2007 出版予定)
- 4) 「海洋基本法」、<http://law.e-gov.go.jp/announce/H19HO033.html>
- 5) 「レアメタル要注視 10 鉱種の需給の現状について」、総合資源エネルギー調査会鉱業分科会・レアメタル対策部会、(個別分析) <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g40728a03j.pdf>
- 6) 日本貿易統計・主要生産国、WBMS2006、MCS2006
- 7) 関本真紀、「要注視 7 鉱種の需給状況等」、(2006) http://www.jogmec.go.jp/mric_web/koenkai/061128/breifing_061128_5.pdf
- 8) 渡辺寧、経済産業省資源戦略研究会資料
- 9) U. Schwarz-Schampera, P. M. Herzig, "Indium: Geology, Mineralogy, and Economics", Springer, (2002)
- 10) JOGMEC ホームページ、http://www.jogmec.go.jp/faq/faq_2_02.html
- 11) 革新的部材産業創出プログラム / 再掲 3 R プログラム「希少金属代替材料開発プロジェクト」基本計画、<http://www.meti.go.jp/information/downloadfiles/c70301a01j.pdf>
- 12) ハイブリッド自動車生産「2015 年における自動車産業予測 (2006 年版)」、総合技研、<http://www1.odn.ne.jp/sogogiken/2015/07-2015-mihon.pdf>
- 13) 平成 17 年度調査報告書「各種レアメタルに関するリスク評価及び重要元素に関する需給の現状と課題」、NEDO
- 14) 「非鉄金属資源の安定供給確保に向けた戦略〈報告書〉」、(2006)、資源戦略研究会、<http://www.meti.go.jp/press/20060614003/houkokusho.pdf>
- 15) 遠藤小太郎、「希少資源の循環とリサイクル—インジウムを例として—」、廃棄物学会第 12 回リサイクルシステム・技術研究部会資料、(2007)、<http://www.jswme.gr.jp/recycle/Endo070326.pdf>
- 16) 「第 3 期科学技術基本計画・分野別推進戦略—ナノテクノロジー・材料分野—」、総合科学技術会議、(2006)、http://www.Mext.go.jp/a_menu/kagaku/kihon/06032816/001/001.pdf
- 17) 「元素戦略プロジェクト」に関する研究開発課題の募集について、http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/19/03/07022608.htm
- 18) 文部科学省「元素戦略プロジェクト」および経済産業省「希少金属代替材料開発プロジェクト」研究開発課題の採択について、http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/19/07/07071217.htm
- 19) 村尾智・安藤厚、http://www.gsj.jp/Pub/News/pdf/1989/05/89_05_03.pdf
- 20) 辻野照久、「海底活用のための探査技術—大陸棚確定調査への貢献—」、科学技術動向、No.72 (2007.3)
- 21) 「日本近海の海底鉱物資源賦存状況調査」、JOGMEC 資料、http://www.jogmec.go.jp/mric_web/koenkai/070125/breifing_070125_5.pdf
- 22) 飯笹幸吉、「海底熱水鉱床：日本と世界」、金属資源レポート (JOGMEC)、Vol.36、No.3、p155 ~ 159 (2006)、http://www.jogmec.go.jp/mric_web/kogyojoho/2006-09/MRv36n3-14.pdf
- 23) 経済産業省・資源エネルギー庁資料「レアメタル備蓄制度の現状について」、(2004)、<http://www.meti.go.jp/committee/downloadfiles/g40423a40j.pdf>

執筆者



ナノテクノロジー・材料ユニットリーダー

河本 洋

科学技術動向研究センター

特別研究員

<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

工学博士、日本機械学会フェロー。トヨタ自動車㈱にて自動車部材の開発段階における強度設計・評価を担当し、その後(財)ファインセラミックスセンターにて経済産業省関連プロジェクト(ファインセラミックスの研究開発など)に従事。専門は構造部材の強度設計と信頼性評価技術。